



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08248266 A**(43) Date of publication of application: **27.09.96**

(51) Int. Cl.

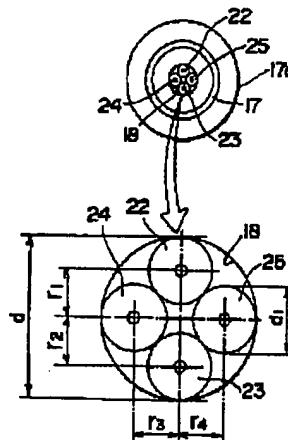
G02B 6/36**G02B 6/26****G02B 6/28**(21) Application number: **07100667**(71) Applicant: **SEIKO GIKEN:KK**(22) Date of filing: **31.03.95**(72) Inventor: **TAKAHASHI MITSUO
GO GIYOKUEI**(30) Priority: **13.01.95 JP 07 21032**(54) **OPTICAL FIBER FERRULE AND OPTICAL
COUPLER FORMED BY USING THIS OPTICAL
FIBER FERRULE**

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a ferrule with four-fiber optical fiber cables usable as parts, such as optical couplers and an optical coupler formed by using this ferrule.

CONSTITUTION: This optical coupler is formed of the first and second optical ferrules formed by tightly inserting the ends of four optical fibers 22, 23, 24 and 25 into the central hole 18 at the front end of the cylindrical ferrule 17, a pair of distributed refractive index rod lenses and films which allow the transmission of a part of incident light and reflect a part thereof. Four optical fibers 22, 23, 24, 25 are inserted and fixed into the central hole of the ferrule 17. A relation of $d=(2^{1/2}+1)d_1+\delta$ is made to hold between the diameter (d) of the central hole 18 at the front end of the ferrule 17 and the diameter (d_1) of the optical fibers 22 to 25. An error of about several μm is permitted for δ with the standard ferrules.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-248266

(43) 公開日 平成8年(1996)9月27日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/36

G 0 2 B 6/36

6/26

6/26

6/28

6/28

W

審査請求 未請求 請求項の数5 F D (全8頁)

(21) 出願番号 特願平7-100667

(22) 出願日 平成7年(1995)3月31日

(31) 優先権主張番号 特願平7-21032

(32) 優先日 平7(1995)1月13日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000147350

株式会社精工技研

千葉県松戸市松飛台286番地の23

(72) 発明者 高橋 光雄

千葉県松戸市松飛台286番地の23 株式会

社精工技研内

(72) 発明者 呉 玉英

千葉県松戸市松飛台286番地の23 株式会

社精工技研内

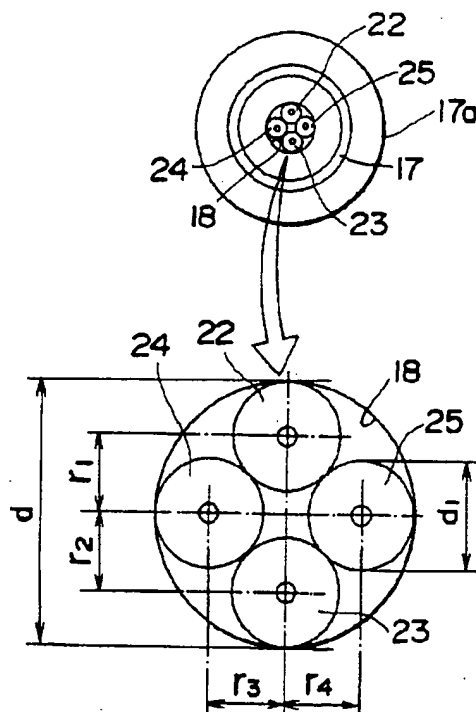
(74) 代理人 弁理士 井ノ口 壽

(54) 【発明の名称】 光ファイバフェルールおよび前記光ファイバフェルールを用いた光カブラ

(57) 【要約】

【目的】 本発明は光カブラ等の部品として利用できる4心光ファイバ付フェルールおよび前記フェルールを用いた光カブラを提供する。

【構成】 円筒状のフェルール17の先端中心孔18に4本の光ファイバ素線22、23、24および25端を密着挿入して形成した第1および第2の光ファイバフェルールと、一対の分布屈折率ロッドレンズと、入射光の一部を透過し一部を反射する被膜とから光カブラを形成する。4心光ファイバ付フェルール17の中心孔に4本の光ファイバ素線22、23、24、25が挿入固定される。前記フェルール17の先端の中心孔(d)と光ファイバ素線の直径(d₁)間に $d = (2^{1/2} + 1) d_1 + \delta$ の関係を成立させる。δは標準的なフェルールにおいて数μm程度の誤差が許容される。



光波長によって分岐比が変動しないなどの利点をもっている。しかしながら、分布屈折率ロッドレンズを用いるものは、各光ファイバ6A、6B、6Cを分布屈折率ロッドレンズ1、2に接続するときの機械的な組立精度によって挿入損失が大きくなる欠点がある。分布屈折率ロッドレンズを用いるものは、図12に示すように、特に各光ファイバ6A、6B、6Cの分布屈折率ロッドレンズ1、2の中心光軸からの接着半径 r_1 、 r_2 、 r_3 の位置誤差を $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度以内に調整しなければならない。また、取り付け角度も中心を通る線 YY' 線上に正確に接着固定しなければならない。もし取り付け位置に誤差を生じた場合は取り付け位置の誤差値に比例して大きな過剰損失を生ずる。したがって、各光ファイバ6A、6B、6Cを分布屈折率ロッドレンズ1、2端面に正確にエポキシ接着剤で接着しなければならない。そのため多大な工数と熟練を要し、製造費用も大きくなるので必然的に製品価格は高くならざるを得なかった。さらに光出力の大きいレーザ光源を使用した場合、長期間の使用による光透過面に介在しているエポキシ等の接着剤の劣化などが懸念されていた。

【0005】そのために本件発明者等は前記エポキシ接着剤固定の問題を解決するための実験を行った。図13に前記実験装置、図14にフェルール14と光ファイバの取り付け位置関係を示す。フェルール14、14に図13に示すようにそれぞれ2本の貫通孔10、11を設ける。そして一方のフェルール14に光ファイバ12、13を取り付けて2心フェルール14を製作した。他方のフェルール14に光ファイバ13のみを取り付けた。整列スリーブ15の貫通孔16に取り付けた2個の分布屈折率ロッドレンズ1、2の外側端面に前記各フェルールを接続する。2心フェルールは機械加工法では不可能なのでジルコニアセラミック焼結材の使用を試みた。しかしながら、ジルコニアセラミック焼結材は 1500°C 以上の高温で焼結する際に20%前後の大きな寸法収縮をする。また寸法バラツキも比例して大きくなり $\pm 2\%$ 程度は不可避である。例えば貫通孔10、11間寸法を1mmとした場合の誤差のバラツキは $\pm 20 \mu\text{m}$ に達するのでこの改良は成功しなかった。

【0006】なおUSP4,989,946号には後述する本発明による4心光ファイバ付フェルールと外観が類似するフェルールを用いた光ファイバスイッチの発明が示されている。このフェルールと本発明による4心光ファイバフェルールの関係については後に詳しく説明する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】前述したように分布屈折率ロッドレンズを用いた光カブラを用いた双方向光カブラおよび方向光分波合波器は優れた光学性能を持っている。しかしながら光ファイバと分布屈折率ロッドレンズの接続作業性に問題があった。本発明の第1の目的

は光カブラの部品等に好適に利用できる4心光ファイバ付フェルールを提供することにある。本発明の第2の目的は前記レンズユニット用フェルールを用いた光カブラを提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するために本発明によるレンズユニット用フェルールは、基準外形に平行な中心線をもつフェルール孔の先端に4本の光ファイバ素線を挿入固定した光ファイバフェルールにおいて、前記先端の中心孔と光ファイバ素線間に以下の関係を成立させた4心光ファイバフェルールである。

$$d = (2^{1/2} + 1) d_1 + \delta$$

ここにおいて

d : フェルールの中心孔径

d_1 : 光ファイバの素線の直径

δ : 許容誤差値

前記光ファイバフェルールにおいて、前記フェルールの基準外形は前記フェルール先端が結合させられる他の光学部品、例えば光ファイバフェルール、分布屈折率ロッドレンズの外径と同一外径とすることができる。前記第2の目的を達成するために本発明による光カブラは、円筒状のフェルールの先端中心孔に4本の光ファイバ素線端を密着挿入して形成した第1および第2の光ファイバフェルールと、一対の分布屈折率ロッドレンズと、入射光の一部を透過し一部を反射する被膜と、前記一対の分布屈折率ロッドレンズ間に前記被膜を配置し、前記各分布屈折率ロッドレンズの他の端面にそれぞれ前記第1および第2の光ファイバフェルールの先端を当接して前記各分布屈折率ロッドレンズと前記各光ファイバフェルールの中心軸を一致させ、少なくとも前記一方のフェルールを回転して前記一方のフェルールの一つの光ファイバの光軸が、他方のフェルールの一つの光ファイバの光軸に対して前記分布屈折率ロッドレンズの光軸に軸対称となるように角度調整して固定する固定手段から構成されている。前記記載の光カブラにおいて、前記被膜は入射光の含まれる第1の波長成分(λ_1)を透過し、第2の波長成分(λ_2)を反射する被膜とすることができる。前記光カブラにおいて、前記一対のフェルールのうち一方のフェルールは4本の光ファイバが使用され、他方のフェルールは2本のみが使用される一組のレンズユニットで2組の 1×2 回路を形成する光カブラを形成できる。前記光カブラにおいて、前記一対のフェルールのうち一方のフェルールは4本の光ファイバのうち相互に接触しない2本のみが使用され、他方のフェルールは4本の光ファイバのうち1本のみが使用され 1×2 回路の光カブラを形成することができる。前記光カブラにおいて、前記入射光の一部を透過し一部を反射する被膜は透明板の表面に形成された多層誘電体被膜とすることができる。前記光ファイバフェルールにおいて、前記基準外形は前記フェルールの中心線を中心線とする円筒とする

ことができる。前記光カブラにおいて、前記入射光の一部を透過し一部を反射する被膜は前記分布屈折率ロッドレンズの表面に形成された多層誘電体被膜で形成することができる。前記光カブラにおいて、前記固定手段は光軸および角度合わせに利用される円筒スリーブとすることができる。前記光カブラにおいて、前記光軸および角度合わせV溝を有するブロックを使用することができる。

【0009】

【実施例】以下図面等を参照して本発明をさらに詳しく説明する。図1は、本発明による4心光ファイバ付フェルールの実施例を示す断面図、図2は前記フェールールの実施例の先端を示す図であって、中心の孔の部分の一部拡大して示してある。フェールール17は円筒形のジルコニアセラミック焼結材で、先端の中心に内径 $d=303\mu\text{m}$ の貫通孔18が相当の長さ設けられている。基部よりフランジ17aが設けられており基部側には光ファイバ被覆19を受け入れることができるように先端の径よりは大きい径の孔20が設けられている。この大径の孔と前記先端の孔とは傾斜角度 15° 以下の斜面を有する連絡孔21で結ばれている。光ファイバ素線22, 23, 24および25はそれぞれ樹脂性の被覆を除去した外径 $d_1=125\mu\text{m}$ のシングルモード光ファイバ素線である。前記フェールール17の先端の中心孔と光ファイバ素線間に以下の関係を成立させる。

$$d = (2^{1/2} + 1) d_1 + \delta$$

ここにおいて

d : フェールールの中心孔径

d_1 : 光ファイバの素線の直径

δ : 数 μm の値

なおこの実施例では前記フェールールの先端の中心に内径 d が公称 $d=303\mu\text{m}$ 、光ファイバ素線の直径の公称 d_1 が $d_1=125\mu\text{m}$ であるとき前記許容誤差 δ は $\delta \leq 3\mu\text{m}$ としてある。図2に示すように各光ファイバ素線22, 23, 24および25は相互に外径面が密着し、かつ、貫通孔18の内径面にも同時に接触するように挿入接着して構成した2個の4心光ファイバ付フェールF1, F2が形成される。

【0010】前述したように、フェールールの中心の貫通孔18の先端の内径 $d=303\mu\text{m}$ 、シングルモード光ファイバ素線の外径 $d_1=125\mu\text{m}$ とすれば、フェールールの孔18の中心軸に対する各光ファイバ素線22, 23, 24および25の光軸からの距離 r_1, r_2, r_3 および r_4 (図2の拡大図参照)を計算すると88.39~89.00 μm となる。半径方向の位置の誤差は0.3 μm となる。また円周方向の角度位置誤差0.004°に原因する誤差は2.2 μm となりこれらは後述するように克服できる大きさである。

【0011】次に前述した2個の4心光ファイバ付フェールF1, F2が結合されて光カブラを形成するレン

ズユニットの構成について説明する。図3は光カブラに用いる分布屈折率ロッドレンズユニットの実施例を示す断面図である。図4は前記レンズユニットに前記フェールを結合させて形成した光カブラの実施例を示す断面図である。図3に示すように円筒精密スリーブ26には精密貫通孔27が設けられている。円筒精密スリーブ26にはガラス、ジルコニアセラミック焼結材、燐青銅およびステンレス鋼などの材料が使用できる。このスリーブ26をスリーブの管軸方向にスリットを設けて構成したスリットスリーブとすることもできる。精密貫通孔27の中央部には2個の軸長 $Z_1=Z_2=0.25$ ピッチの分布屈折率ロッドレンズ28, 29が挿入されている。なお前記2個の4心光ファイバ付フェールF1, F2の外径と分布屈折率ロッドレンズ28, 29の外径は高い精度で一致させられている必要がある。分布屈折率ロッドレンズ29の一方の接合面側に誘電体多層被膜処理30を施して入射光の一部を反射し、一部を透過する膜を形成する。この被膜は光の波長に依存しないもの (例えば入射光をその波長に無関係に50%反射し50%透過するもの) でも良いし、第1の波長(λ_1)成分を透過し第2の波長(λ_2)成分を反射する波長依存性をもつ被膜であっても良い。

【0012】次に組立調整工程を簡単に説明する。

(第1の工程) まず前記円筒精密スリーブ26の精密貫通孔27の両端から、2個の4心光ファイバ付フェールF1, F2が各4心光ファイバ付フェール17の先端面が前記2個の分布屈折率ロッドレンズ28, 29の外側端面に各々接触するように挿入する。

(第2の工程) 各4心光ファイバ付フェールの光ファイバの光軸心がそれぞれ一致するように4心光ファイバ付フェールF1, F2のいずれか一方を円周方向に回転して調心固定する。

【0013】図5は前記構成の光カブラを1×2光カブラ2組として使用する状態を示す説明図である。4心光ファイバ付フェールF1, F2の先端をそれぞれの分布屈折率ロッドレンズ側から見た拡大図である。いま説明の便宜のために、4心光ファイバ付フェールF1側の光ファイバ素線を221, 231, 241および251、4心光ファイバ付フェールF2側の光ファイバ素線を222, 232, 242および252とする。F1側の光ファイバ素線221, 231の中心は Y_1-Y_1 平面内にあり、F1側の光ファイバ素線241, 251の中心は X_1-X_1 平面内にあり、各平面はフェールF1の中心の孔 (フェール17の孔18の中心) で直角に交わっている。F2側の光ファイバ素線222, 232の中心は Y_2-Y_2 平面内にあり、F2側の光ファイバ素線242, 252の中心は X_2-X_2 平面内にあり、各平面はフェールF2の中心の孔 (フェール17の孔18の中心) で直角に交わっている。前述した第2の工程は、 Y_1-Y_1 平面と Y_2-Y_2 平面 (または

$X_1 - X_1$ 平面と $X_2 - X_2$ 平面) を一致させることに他ならない。

【0014】図6は光カブラの分布屈折率ロッドレンズ28、被膜30、分布屈折率ロッドレンズ29の $Y_1 - Y_1$ 断面(= $Y_2 - Y_2$ 断面)図、 $X_1 - X_1$ 断面(= $X_2 - X_2$ 断面)図であり、対応するフェルールの光ファイバの位置を示してある。今、被膜30が入射光を波長に関係なく50%反射し、50%透過するものとする。光ファイバ221から分布屈折率ロッドレンズ28に入射した光の50%は被膜30で反射されて逆行し光ファイバ231に接続され、被膜30を透過した50%の光は分布屈折率ロッドレンズ29を通過して光ファイバ232に接続されることになる。前記被膜30が入射光の含まれる第1の波長成分(λ_1)を透過し、第2の波長成分(λ_2)を反射する被膜であるとする。光ファイバ252に第1の波長成分(λ_1)の光が供給され、光ファイバ251に第2の波長成分(λ_2)が供給されると光ファイバ241に前記各光ファイバから供給された第1の波長成分(λ_1)および第2の波長成分(λ_2)が結合されて取り出される。

【0015】以上述べたように本発明による4本の光ファイバをもつフェール2組とレンズユニットを用いれば、最大2組の光分岐合流器が得られる。この実施例では4心光ファイバ付フェール F_1 、 F_2 のうち F_2 側の1本と F_1 側の2本を組み合わせて使用する構成を示した。フェール F_1 の方の1本と F_2 の2本を組み合わせ使用することにより1組の光分岐合流器として使用することも無論可能である。しかし、本発明においてはフェールの一つの孔に同一の光ファイバ4本が前述の関係を保って固定されることが不可欠の条件であり、使用しないものは使用される光ファイバの位置を確保するために機械的に不可欠なものである。使用しない光ファイバの端面は必要に応じてフェール後端で切断しておく。

【0016】次に前述した光カブラのようなスリーブを使用しない本発明の第2の実施例について説明する。図7に本発明による光カブラの第2の実施例を示す。図8、図9は前記第2の実施例の組立、調整過程を示す一部断面図である。各図においてフェール F_1 、 F_2 の構造は、前述した第1の実施例の4心フェールと基本的に同じである。この実施例フェール F_1 、 F_2 は円筒形のジルコニアセラミック焼結材のフェールであり、前記第1の実施例の4心フェールのフランジ17aに相当する構造はない。分布屈折率ロッドレンズ281、291および被膜301の基本構成は先に第1の実施例で説明したところとかわらない。フェール F_1 、 F_2 の本体171の外形は分布屈折率ロッドレンズ281、291の外径と等しくし、少なくとも $2\mu\text{m}$ 以内の精度で正確に一致するように選ばれる。フェールの中心内径 $d = 303\mu\text{m}$ の貫通孔、および光ファイバ素線

の径 d_1 間には前述同様に $d = (2^{1/2} + 1)d_1 + \delta$

が成立させられている。前記フェールの先端の中心に内径 d が公称 $d = 303\mu\text{m}$ 、光ファイバ素線の直径の公称 d_1 が $d_1 = 125\mu\text{m}$ であるとき前記許容誤差 δ は $\delta \leq 3\mu\text{m}$ であれば良い。

【0017】次に図8、図9を参照して前記第2の実施例の組立、調整過程を説明する。この実施例では4心フェールと分布屈折率ロッドレンズの光軸および角度合わせにV溝を有するブロック261を使用する。V溝261aを有するブロック261の中央部に分布屈折率ロッドレンズ281、291が配置される。片面にミラー被膜が形成されたガラス板301が前記分布屈折率ロッドレンズ281、291間に配置されている。V溝261aに第1の4心光ファイバ付フェール F_1 のフェール本体171の先端面が分布屈折率ロッドレンズ281の外側端面に接触するように配置整列固定する。次に第9図に示すように第2の4心光ファイバ付フェール F_2 の先端面が第2の分布屈折率ロッドレンズ291の外側端面に接触させた状態に整列させる。第1および第2のフェール F_1 、 F_2 および第1のおよび第2の分布屈折率ロッドレンズ281、291の外径は同一であるからこの状態で各中心軸は一致させられることになる。

【0018】この状態で前記フェール F_2 を回転してフェール F_1 の一つの光ファイバの光軸がフェール F_2 の一つの光ファイバの光軸に対して前記分布屈折率ロッドレンズの光軸に軸対称となるように角度調整して固定する。この結果として各フェールの光ファイバの光軸はそれぞれ一致させられることになる。この状態で第1の4心光ファイバ付フェール F_1 、第1の分布屈折率ロッドレンズ281、第2の分布屈折率ロッドレンズ291、第2の4心光ファイバ付フェール F_2 を棒状に固定して図7に示す光カブラを形成する。なお前記V溝を有するブロック261に固定した状態で使用することも可能である。

【0019】前述したUSP4,989,946号にはフェールの孔に2本の光ファイバ先端を挿入したものと7本の光ファイバ先端を挿入したものが示されている。2本の光ファイバ先端を挿入したもののフェールの孔の直径は光ファイバの外径の2倍に設定されている。このとき、フェールの内径を d_w 、光ファイバの直径を d_1 として、それらの間に誤差 δw が存在すると、 $d_w = 2d_1 + \delta w$ の関係が成立する。 δw が $3\mu\text{m}$ であったとすると、2本の光ファイバ間の円周方向の角度誤差は一方のフェールについて 12.5° 、両方では 25° に達し本発明のような用途のフェールには使用できない。なお本発明の前記実施例では角度誤差は 0.004° である。また前記公報に示されている7本の光ファイバについては $d_w = 3d_1 + \delta w$ の関係が成立することになるが、7本の光ファイバを順序良く配列

させることは製造上極めて困難で良い結果が得られていない。

【0020】

【発明の効果】以上詳しく説明したように、本発明による光カブラではフェルールの唯一の孔に4本の光ファイバを固定するので光カブラの組立作業性は通常の光コネクタ組立とほぼ同等であり、熟練は必要としない。さらに組立工数の大幅な低減ができる。また各光ファイバと分布屈折率ロッドレンズ間の光軸ずれは、一方の4心光ファイバ付フェルールの円周方向の回転調整のみにより光コネクタと同等の1～2μm程度にできる。V溝を有するブロックを用いると中心合わせおよびフェルールの角度合わせが簡単になる。このときV溝を有するブロックを用いて光カブラを固定したのちにブロックを外して使用することができる。また前記ブロック自体に固定した状態で用いることもできる。また従来エポキシ接着剤等が光路に存在すると光出力の大きいレーザ光源を使用した場合には前記エポキシ接着剤等の劣化が問題となっていたが、本発明による構成ではそのような経年劣化はなくなった。

【0021】以上詳しく説明した実施例につき本発明の範囲内で種々変形を施すことができる。前記4心の光ファイバフェルールの利用例として光カブラの例を示したが、この光ファイバフェールは前記以外の用途、例えば同様な他の光ファイバフェールとの結合にも利用できる。ただしこの場合結合対象の光学部品の外径はこの光ファイバフェールの外径と同じにしておく必要がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるフェールの実施例を示す断面図である。

【図2】前記フェールの実施例の先端を示す図である。

【図3】本発明による光カブラの第1の実施例の分布屈折率ロッドレンズ対とスリーブの組立の実施例を示す断面図である。

【図4】前記分布屈折率ロッドレンズ対とスリーブの組立に前記フェールを結合させて形成した光カブラの第1の実施例を示す断面図である。

【図5】図4に示した光カブラを1×2光カブラ2組として使用する状態を説明するためのフェール先端の拡大図である。

【図6】図4に示した光カブラを1×2光カブラ2組として使用する状態を説明するための分布屈折率ロッドレンズと被膜の断面図である。

【図7】本発明による光カブラの第2の実施例を示す図である。

【図8】前記第2の実施例の製造過程を示した一部断面図である。

【図9】前記第2の実施例の調整過程を示した一部断面図である。

【図10】従来の分布屈折率ロッドレンズと分光特性を有するフィルタと反射面を組み合わせた2方向光カブラの構造を原理的に示した断面図である。

【図11】従来の分布屈折率ロッドレンズと分光特性を有するフィルタと反射面を組み合わせた一方向光分波器の構造を原理的に示した断面図である。

【図12】図10および図11に示した装置の分布屈折率ロッドレンズと光ファイバの接合位置を図解した説明図である。

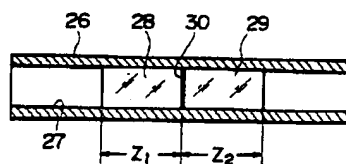
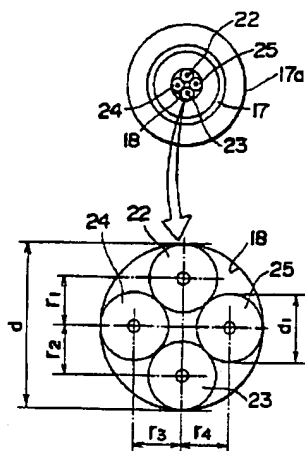
【図13】前記従来装置の問題点を解決するために本件発明者等が試みた改良実験のための装置を示す断面図である。

【図14】図13に示した改良実験のための装置の光ファイバとフェールの位置関係を示す説明図である。

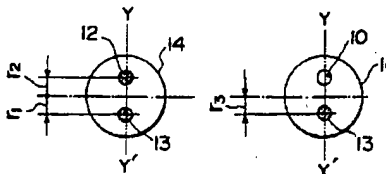
【符号の説明】

- 1, 2, 28, 29 分布屈折率ロッドレンズ
- 3 ガラス板
- 4 誘電体多層被膜
- 5 接着剤による光ファイバ固定部
- 6A, 6B, 6C 光ファイバ
- 8 光源
- 9 受光器
- 10, 11 2心フェール用貫通孔
- 12, 13 光ファイバ
- 14 2心フェール
- 15 2心フェール用整列スリーブ
- 17 フェール本体
- 17a フェールのフランジ
- 18 貫通孔
- 19 被覆部付き光ファイバ
- 20 フェールの基部の孔
- 21 連絡孔
- 22, 23, 24, 25 (221, 231, 241, 251, 222, 232, 242, 252) シングルモード光ファイバ素線
- 26 円筒精密スリーブ
- 27 円筒精密スリーブ精密貫通孔
- 30 被膜
- F1, F2 4心光ファイバ付フェール
- 171, 光ファイバフェール本体
- 261 V溝を有するブロック
- 281, 291 分布屈折率ロッドレンズ

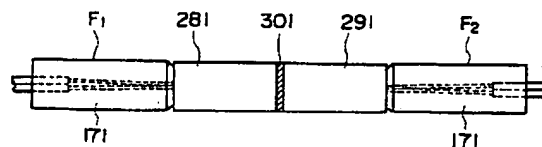
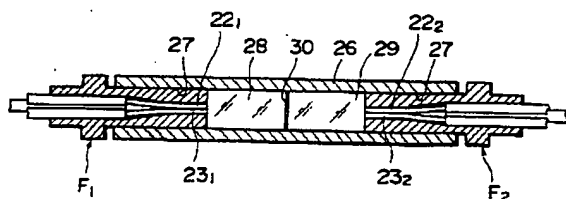
【図3】



【图 14】

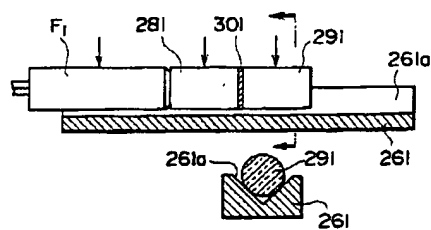
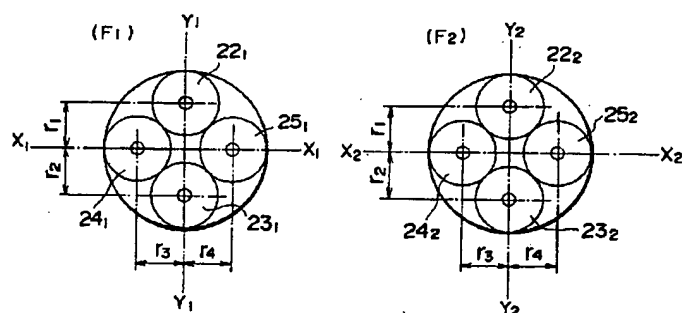


【图7】



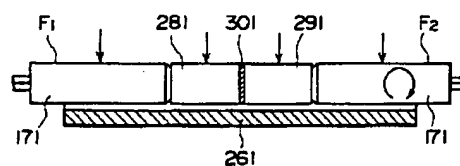
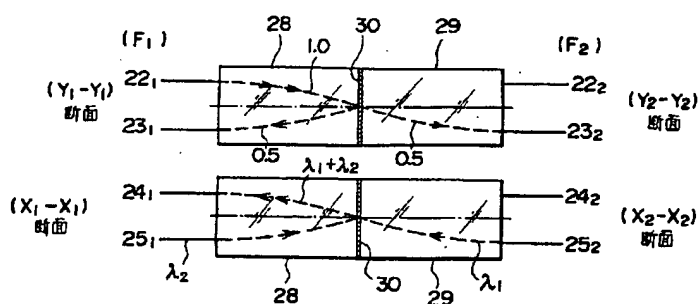
【圖 8】

【圖 5】

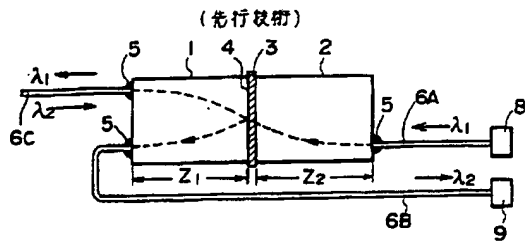


【図9】

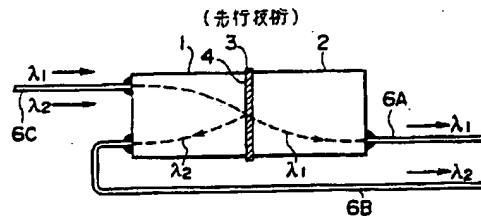
【図 6】



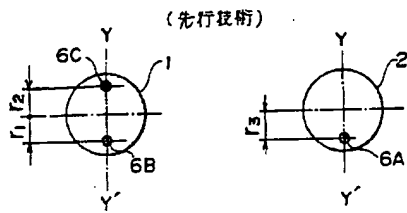
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

